

# **CHARAKTERISIERUNG DER HOCHWASSERINDUZIERTEN VERLETZBARKEIT VON FLIESSGEWÄSSERN**

**M.Sc. Stephan Garack und Dr.-Ing. Reinhard Schinke**

Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, Dresden

## **1 EINFÜHRUNG**

Die Hochwasserereignisse der letzten Dekaden zeigten, dass die Gesellschaft neben den immensen Aufwendungen zur Wiederherstellung von Gebäuden und Verkehrsinfrastruktur auch mit hohen Kosten zur Schadensbeseitigung an den Fließgewässern selbst konfrontiert wird (z.B. LFUG, 2004; GDV, 2011; BMI, 2013; TLUG, 2013; LFULG, 2015; LfU, 2016; BBSR, 2018). Ohne die zielgerichtete Umsetzung geeigneter Anpassungsmaßnahmen ist mit einem weiteren Anstieg der Schadenssummen zu rechnen, da durch den Klimawandel eine Häufigkeits- und Intensitätszunahme von Hochwasserereignissen erwartet wird (DAS, 2008; FRANKE, 2016; IPCC, 2018). Um die Folgen von klimatischen Entwicklungen und Naturgefahren abschätzen zu können, wurde in der Vergangenheit besonders die hochwasserinduzierte Verletzbarkeit von Gebäuden und Verkehrsinfrastrukturen betrachtet (u. a. SCHINKE et al., 2013; NEUBERT et al., 2016; GOLZ et al., 2017). Offen blieb bislang jedoch, inwieweit sich auch die Verletzbarkeit baulich veränderter Fließgewässer abschätzen lässt. Wir haben hierzu einen wirkungsanalytischen Ansatz erarbeitet, der insbesondere auf kleine und mittelgroße Fließgewässer abzielt. Auf dessen Basis lassen sich für Fließgewässer (abschnittsweise) die Verletzbarkeit bestimmen, Schwachpunkte identifizieren und zukünftige Anpassungsmaßnahmen lagekonkret zuordnen.

## **2 WIRKUNGSANALYTISCHER ANSATZ**

Grundlage für diese wirkungsanalytische Betrachtung bildete die Charakterisierung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen; mit Blick auf die hydraulischen Einwirkungen und Abschätzung der Widerstandsfähigkeit des befestigten Abflussprofils. Hierbei identifizierte Parameter eigneten sich zur Bewertung der Widerstandsfähigkeit verschiedener Wasserbauweisen in Abhängigkeit maßgebender hydraulischer Einwirkungen. Rückschlüsse hierzu ließen sich beispielsweise auch aus den Untersuchungen von

MAGILLIGAN (1992), BECK (2006), JULIAN & TORRES (2006), KHATUA et al. (2007), REQUENA (2008) und GOHARROKHI (2015) gewinnen.

Unter Berücksichtigung dieser Ansätze war es möglich, die **Fließgeschwindigkeit**, die **Anströmdauer**, die **Schleppspannung** und die **Strömungsrichtung** als wesentliche hydraulische Einwirkungsparameter herauszustellen. Die Klassifizierung der **Widerstandsfähigkeit** basiert letztlich auf einer Typisierung von Bauweisen, die eine Differenzierung hinsichtlich (i) der Beständigkeit gegenüber den genannten hydraulischen Einwirkungsparameter und (ii) Bauweisen-spezifischer Parameter ermöglicht. Maßgebende Bauweisen-spezifische Parameter wurden insbesondere aus den Erkenntnissen von DRL (1979), GERSTGRASER (2000a und 2000b), SCHILLINGER, (2001), DEUßFELD (2009) und HANNIG (2010) abgeleitet und für die Formulierung der **Oberflächenrauheit** und **Anprallbeständigkeit** genutzt.

Für einen Überblick vorhandener Bauweistypen im Sinne von Sohl- und Uferbefestigungen lag es nahe, die Differenzierung der Bauweisen anhand vorhandener Datenbanken und Datensätze vorzunehmen. Diese stützt sich auf die Methodik der aktuell vorliegenden „*Kartieranleitung der Gewässerstrukturgüte für die kleinen bis großen Fließgewässer*“ (LANUV NRW, 2012). Die Einzelparameter „EP 3.3 Sohlverbau“ und „EP 5.2 Uferverbau“ liefern hier anhand ihres Lagebezugs und ihrer Ausprägungen Aussagen zum räumlichen Vorkommen und Bauweistyp. Gleichzeitig wurde durch die Verwendung dieser Datengrundlage der Maßgabe einer einfachen Anwendung und Übertragbarkeit der Methodik entsprochen. Über eine fünfstufige Klassifizierung der kritischen Wertebereiche der Wirkungsparameter konnte die Widerstandsfähigkeit von Sohl- und Uferbefestigungen bestimmt werden. Durch eine Unterteilung in 100-Meter-Abschnitte (für kleine bis mittelgroße Fließgewässer) besteht somit die Möglichkeit, die Widerstandsfähigkeit für jeden Gewässerabschnitt separat auszuwerten und darzustellen. In bisherigen Studien wurden überwiegend unbeschädigte und einwandfreie Bauwerke oder Bauweisen als Untersuchungsgegenstand herangezogen, wobei Hinweise zur potenziellen Herabsetzung der Widerstandsfähigkeit durch Vorschädigungen oder einen mangelhaften Unterhaltungszustand nur wenig Beachtung fanden (vgl. MÜLLER, 2010; BMLFUW, 2013; FAN, 2015; STÖHR, 2015). Daher wurden in der vorliegenden Studie bauliche Zustandsmerkmale, die mit einer Herabsetzung der Widerstandsfähigkeit der Bauweisen gegenüber hydraulischen Einwirkungen einhergehen, durch Minderungsfaktoren methodisch berücksichtigt. Um deren Einfluss abschätzen zu können, flossen Kenntnisse über

Schadensmechanismen und Schadensausbreitungen an Wasserbauten in die Zustandsbewertung ein (z. B. STÖHR, 2015). Daraus entwickelten wir fünf Zustandsklassen, die zu einer Minderung der Widerstandsfähigkeit von Bauweisen führen können und letztlich der Zusammenführung von **Widerstandsfähigkeit** und **baulichem Zustand** hin zur **Verletzbarkeit von Bauweisen** dienen (vgl. Tabelle 1). Die Verletzbarkeit von Bauweisen wurde im Gerinne für die Bereiche „Sohle“, „Ufer rechts“ und „Ufer links“ getrennt betrachtet und kann anhand einer dreibändigen Darstellung, ähnlich der Gewässerstrukturgüte, visualisiert werden.

Tabelle 1 Ermittlung der Verletzbarkeit von Bauweisen anhand von Widerstandsfähigkeit und Zustandsklasse

Verletzbarkeit von Bauweisen		Zustandsklasse Bauweise				
		1	2	3	4	5
Widerstandsfähigkeit Bauweise	5	1	2	3	4	5
	4	2	3	4	5	5
	3	3	4	5	5	5
	2	4	5	5	5	5
	1	5	5	5	5	5

Insbesondere durch Auswertung von Ereignisanalysen wurde ergaben sich durch die vielfältige Ausprägung von Fließgewässerabschnitten Faktoren, die im Überflutungsfall zusätzlich Schäden an den Bauweisen induzieren und die Verletzbarkeit potenziell beeinflussen. Diese wurden unter dem Begriff „**Schadensrelevante Randbedingungen**“ zusammengefasst, in punktuelle, lineare bzw. flächige Randbedingungen gegliedert und in die Bewertung der **Verletzbarkeit von Gewässerabschnitten** einbezogen. Dabei erfolgte eine Zuordnung der Randbedingungen zu den Wirkungsbereichen im Abflussprofil. Als Datengrundlagen wurden weitere Einzelparameter der Gewässerstrukturgüte auf ableitbare Aussagen zur Schadensrelevanz im Gewässerabschnitt hin geprüft und mögliche zusätzliche Informationsgrundlagen herausgearbeitet (Tabelle 2). Die **Verletzbarkeit von Gewässerabschnitten** bestimmte sich demnach aus der Weiterverarbeitung und Zusammenfassung von Daten aus **Verletzbarkeit von Bauweisen** unter Berücksichtigung der **schadensrelevanten Randbedingungen**.

Tabelle 2 Schadensrelevante Randbedingungen mit Datenquellen und Wirkungsbereichen („Ufer“: linkes und rechtes Ufer; „Jeweilige Ufer“: entweder linkes oder rechtes Ufer; ALKIS: Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem, DOP: Digitale Orthophotos, EP: Einzelparameter, GSGK: Gewässerstrukturgütekartierung)

Randbedingung (P: punktuell, L: linear, F: flächig)	Datenquelle	Wirkungsbereich
P1 – Quer- und Kreuzungsbauwerke	GSGK: EP 2.1, 2.2, 4.5	Sohle, Ufer
P2 – Mündung von Nebengewässern	Gewässernetz	Jeweilige Ufer
L1 – Lage im Gewässer	Gewässernetz, DOP	Jeweilige Ufer
L2 – Gerinnegeometrie	GSGK: EP 4.1	Ufer
L3 – Geometrieübergänge	GSGK: Foto, DOP	Sohle, Ufer
L4 – Bauweisenwechsel	GSGK: EP 3.3, 5.2	Sohle, Jeweilige Ufer
L5 – Rückstaubereiche	GSGK: EP 2.3	Sohle
L6 – Anlagen, Ablagerungen im Uferbereich	GSGK: EP 5.01, DOP	Jeweilige Ufer
L7 – Gewässerunterhaltung	UWB, Vor-Ort	Sohle, Ufer
F1 – Angrenzende Flächennutzung	GSGK, EP 6.1; ALKIS	Jeweilige Ufer
F2 – Bauliche Anlagen und Umfeldstrukturen	GSGK, EP 6.3; ALKIS	Jeweilige Ufer

### 3 ZUSAMMENFASSUNG

Die entwickelte Methodik (Bild 1) zeigt eine Möglichkeit, die Verletzbarkeit von Fließgewässern mit Hilfe leicht verfügbarer Informationen einzuschätzen. Auf deren Grundlage können besonders kritische Bereiche identifiziert und somit differenzierte und lagekonkrete Anpassungsmaßnahmen zur Hochwasserschadensvorsorge formuliert werden. Die Gewässerstrukturgütekartierung stellt dabei eine wesentliche Grundlage für die Bewertung dar, die den Bedarf zusätzlicher Datenerhebungen begrenzt. Die Bewertung der hochwasserinduzierten Verletzbarkeit von Fließgewässern stützt sich dabei insbesondere auf Merkmale

- **der Bauweise**
  - *Widerstandsfähigkeit (Typ/Material)*
  - *baulicher Zustand*
- **der schadensrelevanten Randbedingungen**
  - *punktuell*
  - *linear*
  - *flächig*

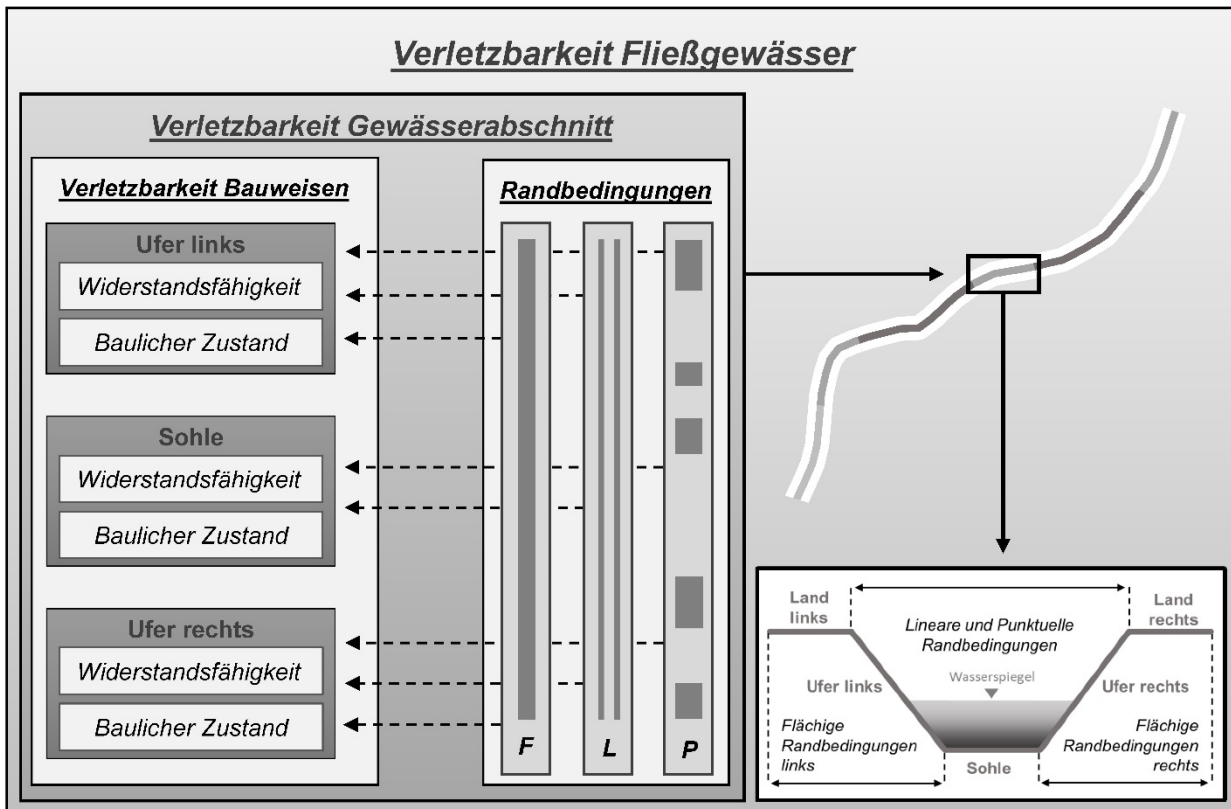


Bild 1 Schematische Darstellung zur Ermittlung der Verletzbarkeit von Fließgewässern als Grundlage für vergleichende Betrachtungen; die Verletzbarkeit des Gewässerabschnittes ergibt sich aus dem Mittelwert der Verletzbarkeiten für linkes Ufer, rechtes Ufer und Sohle unter der Berücksichtigung zusätzlich schadensrelevanter Randbedingungen: F = flächig, L = linear, P = punktuell (siehe exemplarischer Querschnitt), eigene Darstellung.

#### 4 DANKSAGUNG

Die hier vorgestellte Methodik entstand im Rahmen des EU-geförderten Forschungsprojektes STRIMA II (Förderprogramm „Ahoj susede. Hallo Nachbar.“ Interreg V A / 2014 – 2020). Wir danken dem Fördermittelgeber und dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) als Leadpartner für die vielfältige Unterstützung der Arbeiten.

#### 5 LITERATUR

BBSR (2018) – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.): *Starkregeneinflüsse auf die bauliche Infrastruktur*, Bonn.

BMI (2013) – Bundesministerium des Inneren: *Bericht zur Flutkatastrophe 2013: Katastrophenhilfe, Entschädigung, Wiederaufbau*, Berlin.

BMLFUW (2013) – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Österreich (Hrsg.): *Schutzbauwerke der Wildbachverbauung - Handbuch zur Durchführung einer Bauwerkskontrolle*, Sektion Forstwesen, Wien.

DAS (2008) – *Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel*. (DAS) Die Bundesregierung – vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen, Berlin.

- DEUßFELD, N. (2008): *Die tiefengemittelte Simulation vegetationsbeeinflusster Strömungen – Hydrodynamik und Sedimenttransport*, Dissertation, Universität der Bundeswehr, München.
- DRL (1979) – Deutscher Rat für Landespflege: *Landschaft und Fließgewässer, Stellungnahme des Deutschen Rates für Landespflege und Einzelberichte von Sachverständigen zum Thema des Seminars*, Heft 33 der Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landespflege, August 1979, Bonn.
- FAN (2015) – Fachleute Naturgefahren Schweiz: *Empfehlung zur Beurteilung der Gefahr von Ufererosion an Fließgewässern der Kommission für Hochwasserschutz (KOHS) des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes*, Arbeitsgruppe Ufererosion, Schweiz.
- FRANKE, J. (2016): *Raum-zeitliche Entwicklung des Starkregenverhaltens in Sachsen*, Vortrag im Rahmen der 10. Annaberger Klimatage, Referent: Dr. Johannes Franke, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Annaberg.
- GDV (2011) – Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (Hrsg.): *Auswirkungen des Klimawandels auf die Schadenssituation in der deutschen Versicherungswirtschaft*, Kurzfassung Hochwasser, Berlin.
- GERSTGRASER, C. (2000a): *Effect of Vegetation on Riverbank Stability*. In: European Geophysical Society (Ed.): Geophysical Research Abstracts, Vol.2, 25th General Assembly.
- GERSTGRASER, C. (2000b): *Ingenieurbioologische Bauweisen an Fließgewässern - Grundlagen zu Bau, Belastbarkeiten und Wirkungsweisen*. Dissertation d. Universität für Bodenkultur in Wien, Band 52, Österreichischer Kunst- und Kulturverlag, Wien, ISBN 3-85437-210-8.
- GOHARROKHI, M. (2015): *Effect of Hydraulic Shear Stress on the Banks of the Red River*, Masterthesis, Department of Civil Engineering University of Manitoba Winnipeg, Manitoba, Canada.
- GOLZ, S; BOHNENKAMP, C; HEYER, T. (2017): *Überflutungsbedingte Schäden an Straßenverkehrsinfrastrukturen*; in: WasserWirtschaft 5, 2017.
- HANNIG, M. (2010): *Testen alternativer Ufersicherungen in einem Naturversuch am Rhein*, in: Kolloquium „Alternative technisch-biologische Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen, Wirkungsweise, Belastbarkeit, Anwendungsmöglichkeiten“, Hannover.
- IPCC (2018) – Intergovernmental Panel on Climate Change: *Global Warming of 1,5°C – Summary for Policymakers*, Schweiz.
- JULIAN, J.P.; TORRES, R. (2006): *Hydraulic erosion of cohesive riverbanks*. *Geomorphology* 76, 193-206.
- KHATUA, K.K.; PATRA, K.C (2007): *Boundary shear stress distribution in meandering compound channel flow*, in: Wilson, A.L., Dehaan, R.L., Watts, R.J., Page, K.J., Bowmer, K.H., & Curtis, A. *Proceedings of the 5th Australian Stream Management Conference*. Australian rivers: making a difference. Charles Sturt University, Thurgoona, New South Wales.
- LANUV NRW (2012) – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen *Gewässerstruktur in Nordrhein-Westfalen: Kartieranleitung für die kleinen bis großen Fließgewässer*. LANUV-Arbeitsblatt 18. Recklinghausen.
- LFU (2016) – Landesamt für Umwelt Bayern: *Sturzfluten- und Hochwasserereignisse Mai/Juni 2016 - Wasserwirtschaftlicher Bericht*, Augsburg.
- LFUG (2004) – Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie: *Hochwasser August 2002 in den Osterzgebirgsflüssen*, Dresden.
- LFULG (2015) – Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie: *Ereignisanalyse Hochwasser Juni 2013*, Dresden.
- MAGILLIGAN, F.J. (1992): *Thresholds and the spatial variability of flood power during extreme floods*. *Geomorphology*, 5, 373-390.
- MÜLLER, U. (2010): *Hochwasserrisikomanagement, Theorie und Praxis*, 1. Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2010.
- NEUBERT, M.; NAUMANN, T.; HENNERSDORF, J.; NIKOLOWSKI, J. (2016): *The Geographic Information System-based flood damage simulation model HOWAD*, In: *Journal of Flood Risk Management* 9 (2016) 1, S. 36-49, <http://dx.doi.org/10.1111/jfr3.12109>.

REQUENA, R. (2008): *Seitenerosion in kiesführenden Flüssen – Prozessverständnis und quantitative Beschreibung*. Mitteilung 210, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), (Hrsg.), Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich.

SCHILLINGER, H. (2001): *Ingenieurbilogische Ufersicherungen an Bundeswasserstraßen; –Methoden, Versuche, Ideen und ein Konzept für die Untere Havel-Wasserstraße zwischen Ketzin und Brandenburg (UHW-km 32,610 – 54,250)*, Vertieferarbeit, Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe Institut für Hydromechanik Universität Karlsruhe (TH).

SCHINKE, R.; NEUBERT, M.; HENNERSDORF, J. (2013): *Modellierung von Gebäudeschäden infolge von Grundhochwasser auf Grundlage gebäudetypologischer Untersuchungen und synthetisch ermittelter Schadensfunktionen*; in: Stamm, J.; Graw, K.-U. (Hrsg.): *Technischer und organisatorischer Hochwasserschutz - Bauwerke, Anforderungen, Modelle*. 36. Dresdner Wasserbaukolloquium 2013. Dresden: Selbstverlag d. Technischen Universität, 2013, (Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen; 48), S.365-372.

TLUG (2013) – Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie: *Das Hochwasserereignis im Mai/Juni 2013 in Thüringen*, Jena.